



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 5 月 2 1 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 4 3 5 3 0
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 1 4 3 5 3 0]

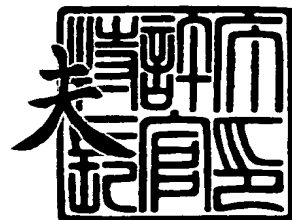
出 願 人 富 士 ゼ ロ ッ ク ス 株 式 会 社
Applicant(s):



2 0 0 4 年 1 月 9 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



出 証 番 号 出 証 特 2 0 0 3 - 3 1 1 0 1 7 7

【書類名】 特許願

【整理番号】 FE02-02188

【提出日】 平成15年 5月21日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G81B 1/00

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 長尾 太介

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 山田 高幸

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 高橋 睦也

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 堀田 宏之

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 小澤 隆

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 鈴木 貞一

【特許出願人】**【識別番号】** 000005496**【氏名又は名称】** 富士ゼロックス株式会社**【代理人】****【識別番号】** 100090583**【弁理士】****【氏名又は名称】** 田中 清**【選任した代理人】****【識別番号】** 100098110**【弁理士】****【氏名又は名称】** 村山 みどり**【その他】**

国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成 1 3 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構「基盤技術研究促進事業（民間基盤技術研究支援制度）常温接合を用いた 3 次元ナノ構造・システム形成技術の研究開発」委託研究、産業活力再生特別措置法第 3 0 条の適用を受けるもの）

【手数料の表示】**【予納台帳番号】** 051035**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 3次元構造体の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の基板上に保持部材を介して空中保持された3次元構造体のスライスパターンに応じた複数の断面形状部材を、第2の基板上に順次接合転写して積層する工程を備えることを特徴とする3次元構造体の製造方法。

【請求項2】 前記接合転写は、常温接合を用いて行われることを特徴とする請求項1記載の3次元構造体の製造方法。

【請求項3】 前記保持部材は、前記断面形状部材と接続される連結部材と、前記連結部材と前記第1の基板との間に設けられる枠状部材とを備えることを特徴とする請求項1記載の3次元構造体の製造方法。

【請求項4】 前記枠状部材は、前記第1の基板上に設けられた柱状部と、前記柱状部上に設けられ前記連結部材と接続する枠部とを含むことを特徴とする請求項3記載の3次元構造体の製造方法。

【請求項5】 前記第1の基板上に犠牲層と部材構成層を積層し、前記部材構成層中に前記断面形状部材と前記枠部と前記連結部材とを形成した後、少なくとも前記断面形状部材と前記第1の基板間が空隙となるように前記柱状部となる部分を残して前記犠牲層を除去する工程を備えることを特徴とする請求項4記載の3次元構造体の製造方法。

【請求項6】 前記断面形状部材は、リソグラフィー法を用いて形成されることを特徴とする請求項5記載の3次元構造体の作製方法。

【請求項7】 前記犠牲層は、アンダーエッチング法を用いて除去されることを特徴とする請求項5記載の3次元構造体の作製方法。

【請求項8】 前記連結部材は、前記接合転写の際に破断されることを特徴とする請求項3記載の3次元構造体の製造方法。

【請求項9】 前記接合転写は、前記断面形状部材と前記第2の基板とを近接対向させ、前記第1の基板と前記第2の基板との間に前記断面形状部材を挟み込むことにより行うことを特徴とする請求項1記載の3次元構造体の製造方法。

【請求項10】 前記接合転写は、前記断面形状部材と前記第2の基板とを

近接対向させ、前記第 1 の基板と前記第 2 の基板との間に前記断面形状部材を挟み込むことにより行い、前記連結部材は、前記断面形状部材が前記第 2 の基板上に転写された後、前記第 2 の基板を前記第 1 の基板から離間させるときに破断されることを特徴とする請求項 3 記載の 3 次元構造体の製造方法。

【請求項 1 1】 前記断面形状部材に対向する前記第 1 の基板上の面が平坦であることを特徴とする請求項 9 または 10 記載の 3 次元周期構造体の製造方法。

【請求項 1 2】 前記第 1 の基板と前記第 2 の基板間の前記断面形状部材を挟み込む圧力が前記断面形状部材全体にかかるようにすることを特徴とする請求項 9 または 10 記載の 3 次元構造体の製造方法。

【請求項 1 3】 前記保持部材は、前記第 1 の基板上に位置する第 1 の枠状部材と、前記第 1 の枠状部材よりも内側に設けられた第 2 の枠状部材と、前記断面形状部材と接続される第 1 の連結部材と、前記第 1 及び第 2 の枠状部材を連結する第 2 の連結部材とを備えることを特徴とする請求項 1 記載の 3 次元構造体の製造方法。

【請求項 1 4】 前記第 2 の枠状部材および前記第 2 の枠状部材に接続される複数の前記断面形状部材を同時に、前記第 2 の基板上に接合転写することを特徴とする請求項 1 3 記載の 3 次元構造体の製造方法。

【請求項 1 5】 前記接合転写は、複数の前記断面形状部材と前記第 2 の基板とを近接対向させ、前記第 1 の基板と前記第 2 の基板との間に前記第 2 の枠状部材及び複数の前記断面形状部材を挟み込むことにより行うことを特徴とする請求項 1 4 記載の 3 次元構造体の製造方法。

【請求項 1 6】 前記 3 次元構造体が、周期構造を有するフォトニック結晶を含むことを特徴とする請求項 1 記載の 3 次元構造体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光通信、光インターコネクション、オプトエレクトロニクスや光計測の分野において、光導波路、光共振器、近接場光学プローブ、複屈折素子、フィ

ルター、分岐素子、波面変換素子や偏向素子として使用される、回折型の光学素子、周期構造をもつ多層膜やフォトニック結晶等を含む 3 次元構造体の製造方法に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

屈折率の分布が光の波長と同程度のピッチの周期構造を持つ媒質は、独特の光の伝播特性を有することが従来から知られている。周期構造が 1 次元のものとしては、誘電体多層膜が古くから知られており、その設計理論や作製技術は既に成熟した分野である。

【 0 0 0 3 】

一方、光の波長と同程度のピッチの 3 次元的な周期構造を持つ媒質を利用して、半導体素子中の自然放出の制御を行なう方法が、1987 年に Yablonovitch によって提唱されて以来（非特許文献 1）、2 次元あるいは 3 次元的な周期構造媒質中での光の振る舞いが注目を集めている。

【非特許文献 1】

E. Yablonovitch, Phys. Rev. Lett., vol.58, (1987), P2059-P2062

そのような媒質中では、ある特定の範囲の波数ベクトルを持つ光は伝播が禁じられ、半導体中の電子のエネルギーバンドと同様の、フォトニックバンドが形成される。フォトニックバンドを形成する周期的屈折率構造を、フォトニック結晶という。

【 0 0 0 4 】

フォトニックバンドを利用すると、これまでにないフォトンの制御が可能になるため、様々な応用が期待されている。既に、自然放出光の制御による低閾値あるいは閾値のないレーザ（非特許文献 2）、フォトニック結晶中の格子欠陥の周りに光が局在する性質を利用した光導波路（非特許文献 3）、同じく光の局在を利用した高効率で μm オーダーの超小型な光共振器（非特許文献 2）、ならびに波長や入射角の微小な変化によって大きく偏向角を変える新しいプリズム機能を持つ素子（非特許文献 4）などへの応用が提案されている。

【 0 0 0 5 】

【非特許文献 2】

馬場ら、応用物理、 vol.67, (1998)、P1041-P1045

【非特許文献 3】

J.D.Joannopoulos et. al.,: Photonic Crystal?, Princeton University Press, (1995 Princeton, New Jersey), P100-P104

【非特許文献 4】

小坂ら、第59回応用物理学会学術講演会予稿集III、17p-T-13, (1998), P920

【0 0 0 6】

これらの光学素子は、素子単体で光の放出制御、伝播制御、プリズム作用、フィルター作用、光導波路などの各種光学的機能を有しているが、さらに発光素子や受光素子と組み合わせることにより、多種多様な電子機能、光機能を発現するようになる。

【0 0 0 7】

フォトリック結晶において、フォトリックバンド効果をもっとも得られる構造としては、3次元フォトリック結晶が最も望ましい。また、3次元フォトリック結晶においても、完全なフォトリックバンドギャップを得ることが可能で、3次元フォトリック結晶中に比較的容易かつ自由に欠陥を挿入できる構造が望ましい。しかし前記のような完全なフォトリックバンドギャップを得ることができ、欠陥を自由に挿入できる3次元フォトリック結晶の作製法は比較的少なく、またその作製が非常に困難である。このような完全なフォトリックバンドギャップを得ることが可能で、3次元フォトリック結晶に自由に欠陥を挿入できる従来の作製技術としては、例えば、非特許文献5または非特許文献6において示される作製法（第1の方法）がある。

【非特許文献 5】

川上彰二郎監修、フォトリック結晶技術とその応用、シーエムシー出版、第1章、2002

【非特許文献 6】

APPLIED PHYSICS LETTERS VOLUME 81, NUMBER 17, pp3122~3124, 2002

【0 0 0 8】

これは半導体微細加工プロセスとアンダーカットエッチングを用いて作製した、エアブリッジ構造の2次元マイクロプレートをあらかじめ基板上に作製し、このマイクロプレートをマイクロマニピュレーターで基板から切り離し、基板から切り離されたマイクロプレートを再びマイクロマニピュレーターで吸着、搬送、位置の微調整を行い積層する。この工程を繰り返して積層することで、3次元フォトニック結晶を作製する。

【0009】

3次元周期構造体を製造する別の方法（第2の方法）としては、3次元周期構造体のスライスパターンを支持基板上に形成し、このスライスパターン上方から別の基板（ターゲット基板）を圧接して転写する工程を繰り返す方法がある（特許文献1、特許文献2）。

【特許文献1】

特開 2001-160654号公報

【特許文献2】

特許第 3161362号公報

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、上記第1の方法では、自由に欠陥を導入することは可能ではあるものの、マイクロマニピュレーションを用いているため、フォトニック結晶を構成する微細加工を施したマイクロプレートの構造1つに対して、多くの工程が必要となる。よって3次元フォトニック結晶の作製にはこの工程を積層数だけ行う必要があり、1つのフォトニック結晶作製に多大な時間と工程数が必要となる。さらに、個々に切断された断面形状部材にマニピュレーターを近づけると、静電力、分子間力、磁力等の相互作用により、各部材がマニピュレーターに吸引あるいは反発したりすることで、配置や向きがばらばらとなってしまう、これらを整合して積層することに多くの労力を要することとなり、効率的でない。

【0011】

また、上記第2の方法では、支持基板からターゲット基板へのスライスパターンの転写を確実にするために、スライスパターンと支持基板との間に剥離層を形

成することが望ましい。しかし、剥離層として作用する材料と剥離層上に膜形成できる材料の組合せは制約されており、3次元周期構造体を構成する材料選択が限られてしまうという問題がある。

例えば、フォトリソグラフィを利用した、レーザやLEDが提案されているが、このような能動的な素子をフォトリソグラフィで形成する場合には、これを構成する材料としては半導体材料が望まれ、しかも半導体材料の結晶性がレーザやLEDなどの特性に大きく影響する。しかし、剥離層としてポリイミド等の樹脂を用いる場合には、この上に結晶性のよい半導体膜を形成することが困難となるため、結晶性のよい半導体を構成材料とするフォトリソグラフィを効率的に製造することが困難となる。

【0012】

従って本発明は、上記課題を解決し、自由な設計に基づいて3次元構造体を効率的にかつ構成材料の制約を低減させて製造可能とする3次元構造体の製造方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明に係る3次元（周期）構造体の製造方法は、第1の基板上に保持部材を介して空中保持された3次元（周期）構造体のスライスパターンに応じた複数の断面形状部材を、第2の基板上に順次接合転写して積層する工程を備えるものである。

【0014】

本発明の3次元構造体の製造方法によれば、3次元構造を構成する断面形状部材を保持部材を介して保持させた状態で第2の基板上に順次接合転写して積層するため、個々の微小なスライスパターンをマイクロマニピュレーションにより積層する場合と比較して、断面形状部材の積層を効率的に行うことが可能となる。即ち、マイクロマニピュレーション法では、保持部材から分離した断面形状部材を点（0次元）で保持してハンドリングするため、断面形状部材は分離前の配置に対して3次元方向（上下左右）で予測困難な位置ずれが生じ、更には向きのばらついた複数の断面形状部材を相対的に位置合せし積層するために、極めて長時

間の調整工程が必要となるが、本発明によれば、断面形状部材を第2の基板上に面（2次元）で保持し、複数の断面形状部材を第2の基板へ順次積層するため、各断面形状部材が生ずる位置ずれの程度が極めて小さく、微小な位置修正で連続的に積層工程を行うことができるため、極めて効率的である。さらに、断面形状部材が空中保持されているため、断面形状部材の材料が第1の基板との間に位置する層（例えば犠牲層）の材料に制約されることが無くなる。この結果、多様な3次元周期構造体を効率的に製造することが可能となる。

【0015】

本発明においては、接合転写は常温接合を用いて行われることが好ましい。常温接合することで、断面形状部材間をアニール融着等をもちいて接合する必要がなくなり、簡便に強固な接合が得られる。また加熱を必要としないため、熱膨張係数の異なる材料などの接合も簡便に行うことが可能である。なお、常温接合とは、真空中で接合する部材の表面の酸化膜や不純物などを、FAB（Fast Atom Bombardment）処理等によって除去して清浄化したのち、これらの清浄面同士を当接させることで部材間を接合する方式である。

【0016】

さらに、前記保持部材は、前記断面形状部材と接続される連結部材と、前記連結部材と前記第1の基板との間に設けられる枠状部材とを備えることで、断面形状部材を空中保持させることが容易となる。なお、連結部材は断面形状部材と同じ材料であっても、異なる材料であってもよい。ここで、各断面形状部材は枠状部材と複数の連結部材で接続されることが好ましい。1つだと、断面形状部材が薄い場合、第2の基板が近接した際に静電気等の引力や斥力により断面形状パターンの連結していない側が浮き上がり、積層時の位置精度が低下する場合があるためである。

【0017】

また、前記枠状部材は、前記第1の基板上に設けられた柱状部と、前記柱状部に設けられ前記連結部材と接続する枠部とを含むことが好ましい。

【0018】

また、前記第1の基板上に犠牲層と部材構成層を積層し、前記部材構成層中に

前記断面形状部材と前記枠部と前記連結部材とを形成した後、少なくとも前記断面形状部材と前記第1の基板間が空隙となるように前記柱状部となる部分を残して前記犠牲層を除去する工程を備えることが好ましい。このようにすることで容易に断面形状部材が空中保持されたパターン部材を形成することができる。

このとき、前記断面形状部材は、リソグラフィー法を用いて形成（パターンニング）することが、高精度の断面形状部材を形成するのに好ましい。リソグラフィー法としては、フォトリソグラフィー、電子ビームリソグラフィー、MEMS技術によるリソグラフィー等を用いることができる。また犠牲層を除去する方法としては、アンダーエッチング法を用いて除去することが、微細な断面形状部材下の犠牲層を除去するのに好ましい。

【0019】

なお、部材構成層及び犠牲層を所定のエッチャントに対して異なるエッチングレートをもつ半導体で構成することにより、微細加工技術が確立した半導体プロセスで断面形状部材を高精度にパターンニングできるとともに、アンダーエッチングにより犠牲層を除去すると1プロセスで犠牲層の一部を支持部材として残した状態で断面形状部材を空中保持させることが可能となる。

また、前記連結部材は、前記接合転写の際に破断されるように構成すると、接合転写による積層工程終了後に枠状部材と3次元構造体とを分離する工程が不要となる。

【0020】

さらに、前記接合転写は、前記断面形状部材と前記第2の基板とを近接対向させ、前記第1の基板と前記第2の基板との間に前記断面形状部材を挟み込むことにより行うことが好ましい。このようにすることで、断面形状部材間に高い圧力を付加することが可能となり、接合状態を向上させることができる。特にフォトリソニック結晶のように高精度に周期構造が形成されることが必要な場合には、単に接触により断面形状部材同士を接合した場合には、部材間に部分的な浮きが発生することで周期構造に異常を生じさせ、所望のフォトリソニックバンド構造が得られない場合があるため、第1の基板と第2の基板とで挟み込みを行って圧接することが特に好ましい。

【0021】

また、接合転写工程をこのように行う場合、前記連結部材は、前記断面形状部材が前記第2の基板上に転写された後、前記第2の基板を前記第1の基板から離間させるときに破断されることが好ましい。連結部材により空中保持された断面形状部材を第2の基板により第1の基板側に押さえつける間に連結部材が破断してしまうと、第1の基板上に落下した断面形状部材の水平方向の位置がずれてしまう場合がある。このため、第2の基板により断面形状部材を第1の基板とで挟み込み、断面形状部材同士を十分に接合し、第2の基板を引き上げる際に連結部材を破断させるようにすることで、水平方向での位置ずれを防止できる。なお、押付時には切断されず、引き上げる際に連結部材を破断させるには、第1の基板と断面形状部材間の距離を（すなわち柱状部材の高さを）連結部材の材料的な延性で破断しない範囲に適宜設定することや、連結部材の形状を、断面形状部材と第1の基板間の間隔程度の押付では伸縮可能な2次元のバネ状（蛇腹状等）に形成しそれ以上に第2の基板を持ち上げた際には破断するように形成すること、引き上げ時に連結部材に切断刃を当てる等の方法がある。

【0022】

挟み込みの際に、第1の基板と第2の基板間で断面形状部材に均等に圧力をかけるためには、前記断面形状部材に対向する前記第1の基板上の面が平坦であることが好ましい。また、第1の基板に樹脂層が含まれる場合、弾性変形して圧力が断面形状部材全体にかからないおそれがあるため、前記第1の基板と前記第2の基板間の前記断面形状部材を挟み込む圧力が前記断面形状部材全体にかかるように、第1の基板が弾性変形しにくい材料で構成されることが望ましい。

【0023】

なお、第1の基板は必ずしも1つの材料から構成される必要はなく、複数の層から構成されても良い。例えば、犠牲層を除去する際のエッチングストップ層としての機能と、支持基板としての機能を別にしたい場合は、単層膜の張り合わせ、結晶成長、蒸着、堆積による薄膜形成等により積層して用いることもできる。

【0024】

また、前記保持部材は、前記第1の基板上に位置する第1の枠状部材と、前記

第1の枠状部材よりも内側に設けられた第2の枠状部材と、前記断面形状部材と接続される第1の連結部材と、前記第1及び第2の枠状部材を連結する第2の連結部材とを備えることもできる。このとき、前記第2の枠状部材および前記第2の枠状部材に接続される複数の前記断面形状部材（セル）を同時に、前記第2の基板上に接合転写することが可能である。このようにパターン部材を構成すると、第2の基板のサイズをセルの面積程度に大きくすることが可能となり、さらに前記接合転写は、複数の前記断面形状部材と前記第2の基板とを近接対向させ、前記第1の基板と前記第2の基板との間に前記第2の枠状部材及び複数の前記断面形状部材を挟み込んで圧接することにより、断面形状部材を密着させることができる。

【0025】

前記3次元構造体は周期構造を有するフォトニック結晶を含むものであり、本発明に係る製造方法によれば、特に3次元の周期構造をもつ多様なフォトニック結晶を、効率的かつ高い設計自由度で製造することができる。

また、断面形状部材を第1の基板上に、異なる複数のフォトニック結晶の各断面を展開するように配置すれば、異なる複数の3次元周期構造体が同時に作製可能である。また、位置合わせも、各3次元周期構造体に対して個別に行う必要もなく、断面形状部材の作製と、常温接合時の位置合わせさえ精度よくできていれば、一度に複数のフォトニック結晶の各レイヤー層に対して精度よく位置合わせが可能である。このため、従来技術より大幅に作製工程数が削減され容易に自由度が高い3次元周期構造体を作製できる。

【0026】

【発明の実施の形態】

（実施例1）

本実施例は、3次元構造体として、いわゆるウッドパイル型3次元フォトニック結晶を作製するものである。この3次元フォトニック結晶は、1種類の薄膜材料と空気若しくは真空からなるエアブリッジ構造のパターンを、ラテラル方向に位置をずらしながら複数積層して構成される。

【0027】

図1は本発明に係る3次元構造体の製造方法に用いるパターン部材を示す図で、(a)はパターン部材加工前、(b)はパターン部材加工後を示す図である。図1(a)のように、この多層膜はInP/InGaAs/InPから構成されており、第1の基板10としてのInP基板上にInGaAsスペーサー層11(犠牲層)とInP層12とをMOCVD法により順次成長して得られる。このInP/InGaAs/InPの多層膜から半導体微細加工プロセスを用いて、断面形状部材を有するパターン部材15が次のようにして作製される。図1(b)に示すように、まず、MOCVD成長したInP層12に、2次元微細構造をもつ複数の断面形状部材1を電子ビーム露光とドライエッチングにより作製する。この際、断面形状部材1に接続された連結部材2、および連結部材2を介して断面形状部材1を保持するための枠状部材3を同時に作製する。この連結部材2と枠状部材3が断面形状部材1の保持部材7を構成する。断面形状部材のストライプパターンの方向は、互いに直交するように形成され、これによりフォトニック結晶の各レイヤーを展開するようにそれぞれ配置された2種類のパターンが第1の基板上に作製される。次に、アンダーカットエッチングにより断面形状部材1及び連結部材2の下層にあるInGaAsスペーサー層11を取り除く。これにより、断面形状部材1は連結部材2を介して枠状部材3により空中に保持される。

【0028】

図2は断面形状部材の保持状態の一例を示す図で、(a)は平面図、(b)は(a)におけるA-B断面図、(c)は(a)の一部拡大図である。図2(a)のように、本例の断面形状部材1のストライプパターンは隣接同士で直交するように形成されている。枠状部材3は柱状部4と枠部5とを備え、図2(b)のように、アンダーエッチングの工程で下層のInGaAs層11がすべて無くなる程度(柱状部4が残る程度)に十分広い幅を有している。また、連結部材2は、図2(c)に示すように、断面形状部材1との接続部6が先細りに形成されている。これは断面形状部材1を連結部2より切り離しやすくするためである。

【0029】

図3(a)は本発明に係る3次元構造体の製造方法に用いられる製造装置の一

例を示す図、(b)はこれにより作製されるウッドパイル型3次元フォトニック結晶の一例を示す図である。

【0030】

この製造装置30は、図3(a)に示すように、積層工程が行われる真空槽300を有し、真空槽300の内部に、図1(b)に示すようなパターン部材(ドナー基板)15が載置される基板ホルダ301と、パターン部材15に形成された断面形状部材1が転写される第2の基板(ターゲット基板)60を保持するステージ302と、このステージ302に取り付けられ、ステージ302側をFAB処理する第1のFAB源303A、およびパターン部材15側をFAB処理する第2のFAB源303Bと、ステージ302をX軸モータ(図示せず)によってX軸方向(図の左右方向)に移動させるX軸テーブル310と、ステージ302をY軸モータ(図示せず)によってY軸方向(図の紙面垂直方向)に移動させるY軸テーブル320とが配設されている。なお、第1および第2のFAB源303A、303Bは、FAB処理終了後、退避モータによりアームを図中の矢印方向に約90°回転させて退避させる。ここで、「FAB処理」とは、粒子ビームとして例えばアルゴンガスを1kV程度の電圧で加速して材料の表面に照射し、材料表面の酸化膜、不純物等を除去して清浄な表面を形成する処理をいう。本実施例では、FABの照射条件を処理対象の材料に応じて、例えば加速電圧1～1.5kV、照射時間1～10分の範囲で変更することができる。

【0031】

また、本製造装置30は、真空槽300の外部に、基板ホルダ301をZ軸モータ(図示せず)によってZ軸方向(図の上下方向)に移動させるZ軸テーブル330と、アライメント調整の際に θ モータによって基板ホルダ301をZ軸回りに回転させる θ テーブル340と、アルゴンガスを第1および第2のFAB源303A、303Bに供給するためのアルゴンガスボンベ351とを具備している。

【0032】

図3(b)は、ウッドパイル型3次元フォトニック結晶の一例を示す図である。本例の3次元フォトニック結晶40は、複数の断面形状部材1a、1b、1c

、1d・・・を、図示しない基板の上にそのストライプパターンの方向が互いに直交するように、ウッドパイル（積み木）状に順次積み重ねたものである。以下、本発明による製造方法について詳述する。

【0033】

図4（a）～（g）は本発明に係る3次元構造体の製造方法の一実施例を示す図である。まず、図4（a）に示すように、断面形状部材1が複数形成されたパターン部材15を常温接合におけるドナー基板として用い、このドナー基板15を第2の基板（ターゲット基板）60と対向させるように製造装置30内に設置する。断面形状部材1は複数形成されているが、本図ではその1つを示している。一方、ターゲット基板60はドナー基板15側にメサ部61を有する。この場合、ターゲット基板60はメサ部ともInPで構成される。また、断面形状部材の積層終了後に形成される3次元構造体をターゲット基板から取り外したいときは、後述のようにInPで構成されたメサ形状63を有するターゲット基板62上に犠牲層としてInGaAs64をMOCVD法で成膜してもよい。このようにすれば前記積層終了後、InGaAsのみをエッチングによってターゲット基板から3次元構造体を取り外すこともできる。ターゲット基板60の平坦部分からのメサ部61の高さは例えば15 μ 程度とした。メサ部61の頂部は平坦であり、断面形状部材1の1つと同程度または若干大きい面積をもつ。

【0034】

この対向するドナー基板15とターゲット基板60の両者表面をFAB処理（イオンビームなどの照射）16A、16Bにより清浄化する。次に両者の位置合わせを行い、ターゲット基板60を移動させドナー基板15（パターン部材）の断面形状部材1に接触させる。このとき、図4（b）に示すように、ターゲット基板60を連結部材2がたわむまで断面形状部材1に押しつづける。これにより、断面形状部材1がターゲット基板60を押す抗力、および上述したアンダーカットエッチングにより表面がむきだしになっている第1の基板（InP基板）10の表面に押し当たる時に生じる抗力を利用してターゲット基板60に圧接を行い常温接合させる。

【0035】

その後、ターゲット基板 60 に接合された断面形状部材 1 を引き上げ、それにより連結部材 2 を破断させて断面形状部材 1 をドナー基板 10 より切り離す。次に、ターゲット基板 60 を動かして、これらの各工程を繰り返す。すなわち、図 4 (d) ~ (f) に示すように、ターゲット基板 60 上に断面形状部材 1 をストライプパターンが直交するように接合転写して積層する。さらに、これらの各工程を交互に繰り返して、図 4 (g) に示すような 3 次元フォトニック結晶 40 を作製する。なお、本実施例では、断面形状部材 1 の積層時にターゲット基板 60 を動かして行ったが、ドナー基板 15 を動かして行ってもよい。

【0036】

また、本実施例では、ターゲット基板 60 のメサ頂部を断面形状部材 1 の 1 つと同程度または若干大きい面積としたが、ターゲット基板 60 をドナー基板 15 に押し付ける際、ドナー基板 15 が柱状部 4 間に複数の断面形状部材 1 を含む構造で、ターゲット基板 60 と柱状部 4 が干渉しない場合には、一回の接合転写工程で複数の断面形状部材を転写することができるので、このような場合には、ターゲット基板 60 のメサ部の頂部の面積を大きくすることができ、大量生産と同時に作業性を改善することができる。

【0037】

(実施例 2)

図 5 (a) ~ (e) は本発明に係る 3 次元構造体の製造方法の他の実施例を示す図である。本実施例は、上述した実施例 1 のウッドパイル型 3 次元フォトニック結晶を複数同時に作製するものである。

【0038】

本実施例では、図 5 (a) に示すように、実施例 1 と同様の $\text{InP}/\text{InGaAs}/\text{InP}$ で構成されるパターン部材 50 上に、3 次元フォトニック結晶を構成する複数の断面形状部材のうち同一レイヤーのパターンを集めたセルを定義し、このセルを所定のピッチで 2 次元状にパターン部材 50 上に展開配置する。例えば、図中のセル 51 は、図 5 (b) に示すように、4 つの断面形状部材の集合体 511、この集合体 511 に接続された連結部材 512、および連結部材 512 を介して集合体 511 を保持するための枠状部材 513 を有する。セル 52 は

、図5(c)に示すように、セル51のストライプパターンと直交するストライプパターンを有する4つの断面形状部材の集合体521、この集合体521に接続された連結部材522、および連結部材522を介して集合体521を保持するための枠状部材523を有する。

【0039】

パターン部材50におけるセルは、図1の断面形状部材と同様にして作製される。すなわち、InP/InGaAs/InPの多層膜が、第1の基板としてのInP基板上にInGaAsスペーサー層（犠牲層）とInPとをMOCVD法により順次成長して得られる。このInP/InGaAs/InPの多層膜から半導体微細加工プロセスを用いて、断面形状部材を有するパターン部材が次のようにして作製される。まず、MOCVD成長したInP層に、2次元微細構造をもつ4つの断面形状部材の集合体511、521を電子ビーム露光とドライエッチングにより複数作製する。この際、断面形状部材の集合体511、521に接続された連結部材512、522、および連結部材512、522を介して断面形状部材の集合体511、521を保持するための枠状部材513、523を同時に作製する。同一セル内の断面形状部材のストライプパターンの方向は同じであるが、隣接セル内の断面形状部材のストライプパターンの方向は互いに直交するように形成される。次に、アンダーカットエッチングにより断面形状部材の集合体511、521及び連結部材512、522の下層にあるInGaAsスペーサー層（犠牲層）を取り除く。これにより、断面形状部材の集合体511、521は、図1の場合と同様に、連結部材512、522を介して枠状部材513、523により空中に保持される。

【0040】

本実施例では、このようにして形成したパターン部材50をドナー基板として用い、これを図5(d)に示すような第2の基板（ターゲット基板）60と対向させ、図4に示した工程と同様な工程を繰り返し行うことで、ターゲット基板60上に複数の3次元フォトニック結晶を複数同時に作製する。図示のようにターゲット基板60はメサ部61を有する。ターゲット基板60はメサ部ともInPで構成される。また、断面形状部材の積層終了後に形成される3次元構造体をタ

ターゲット基板から取り外したいときは、図5（e）に示すようにInPで構成されたメサ形状63を有するターゲット基板62上に犠牲層としてInGaAs64をMOCVD法で成膜してもよい。このようにすることで前記積層終了後、InGaAsのみをエッチングによってターゲット基板から3次元構造体を取り外すこともできる。ターゲット基板60の平坦部分からのメサ部61の高さは例えば15 μ 程度である。メサ部61の頂部は平坦であり、断面形状部材の集合体511、521の1つと同程度または若干大きい面積をもつ。作製された複数の3次元フォトニック結晶は後で分離される。図5では、同じ構造のフォトニック結晶を複数作製する例を示したが、1つ1つ異なる構造のフォトニック結晶を複数作製することもできる。

【0041】

（実施例3）

図6（a）、（b）は本発明に係る3次元構造体の製造方法の他の実施例を示す図である。本実施例も、上述した実施例1のウッドパイル型3次元フォトニック結晶を複数同時に作製するものである。本実施例は、実施例2の断面形状部材の集合体をさらに複数設け、これらを連結部材を介してさらに枠状部材で保持させたものである。本実施例において、パターン部材70は、図6（a）に示すように、複数の断面形状部材の集合体531、541、551、561の全体を囲む第1の枠状部材503、断面形状部材の集合体531、541、551、561を個別に囲む第2の枠状部材533、543、553、563、第2の枠状部材を第1の枠状部材と連結する第2の連結部材502、および断面形状部材の集合体を第2の枠状部材に個別に連結する第1の連結部材532、542、552、562を備える。

【0042】

図6（b）は第2の基板80を示すものである。接合転写工程においては、第2の基板80上に、第1の枠状部材503より内側全体を順次転写する。なお、第1の枠状部材503は図示しない第1の基板上に設けられており、少なくとも第1の枠状部材503より内側の部分と第1の基板間は空隙となっている。この接合転写の過程で第2の連結部材502は破断されて、第1の枠状部材503の

内側に第1の連結部材を介して3次元周期構造体が形成されていく。積層が終了した後、第1の連結部材を機械的に切断し、複数の3次元周期構造体を第2の枠状部材から取り出す。これにより、同時に複数の3次元構造体を作製することができる。このとき、必ずしも3次元構造体を第2の枠状部材から分離する必要はなく、必要に応じて枠状部材を3次元構造体の筐体のごとく使用することもできる。逆に、分離する場合には、第1の連結部材の形成位置はセルごとに異ならせておく方が容易に切断が可能となる。

【0043】

【発明の効果】

本発明によれば、自由な設計に基づいて3次元構造体を効率的にかつ構成材料の制約を低減させて製造可能とする3次元構造体の製造方法を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明に係る3次元構造体の製造方法に用いるパターン部材を示す図で、(a)はパターン部材加工前、(b)はパターン部材加工後を示す図である。

【図2】

断面形状部材の保持状態の一例を示す図で、(a)は平面図、(b)は(a)におけるA-B断面図、(c)は(a)の一部拡大図である。

【図3】

(a)は本発明に係る3次元構造体の製造方法に用いられる製造装置の一例を示す図で、(b)はウッドパイル型3次元フォトニック結晶の一例を示す図である。

【図4】

(a)～(g)は本発明に係る3次元構造体の製造方法の一実施例を示す図である。

【図5】

(a)～(e)は本発明に係る3次元構造体の製造方法の他の実施例を示す図である。

【図 6】

(a)、(b) は本発明に係る 3 次元構造体の製造方法の他の実施例を示す図である。

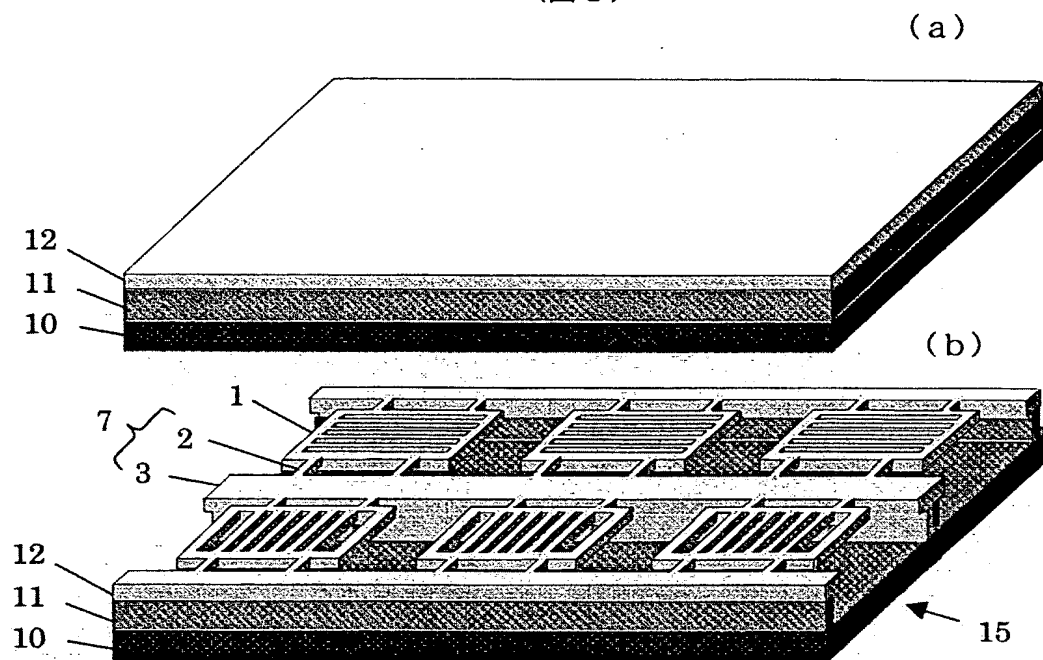
【符号の説明】

- 1 断面形状部材
- 2 連結部材
- 3 枠状部材
- 4 柱状部
- 5 枠部
- 6 接続部
- 7 保持部材
- 1 0 第 1 の基板
- 1 5 パターン部材
- 4 0 3 次元フォトニック結晶
- 6 0 第 2 の基板
- 6 1 メサ部

【書類名】 図面

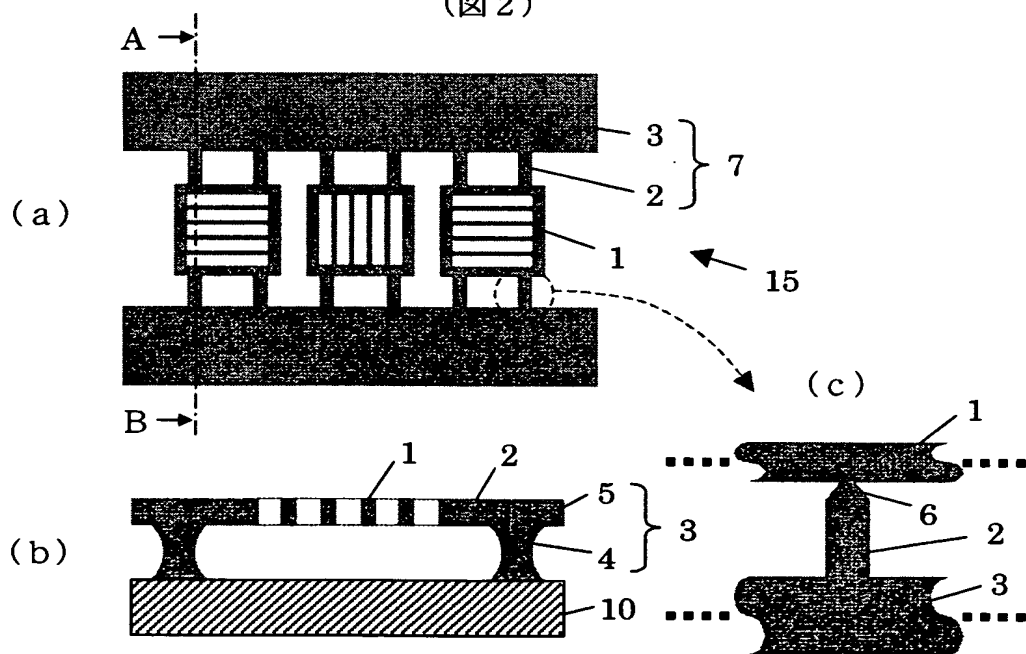
【図 1】

(図 1)



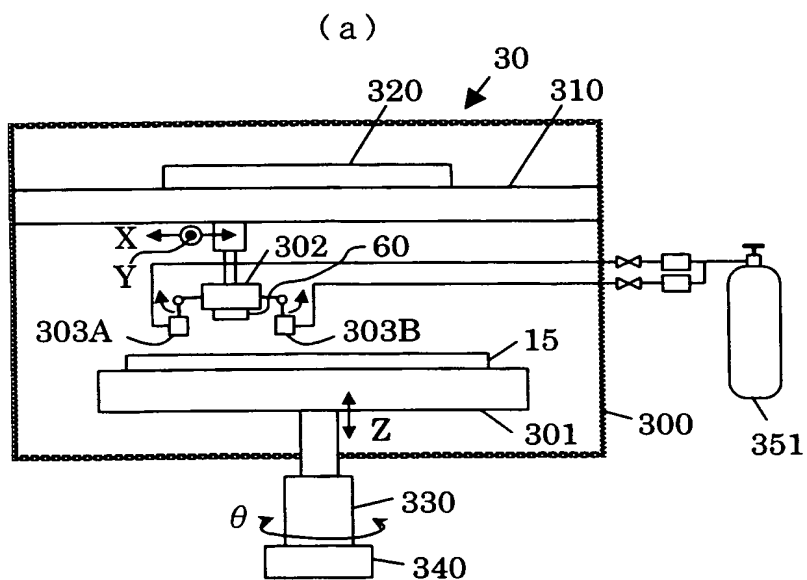
【図 2】

(図 2)



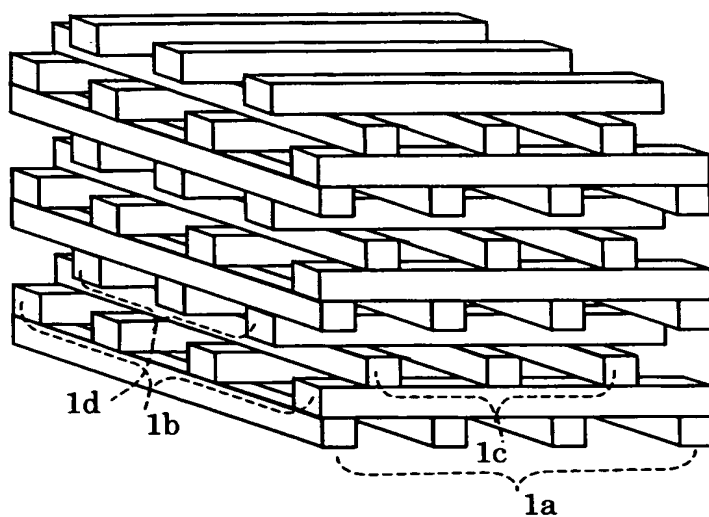
【図 3】

(図 3)



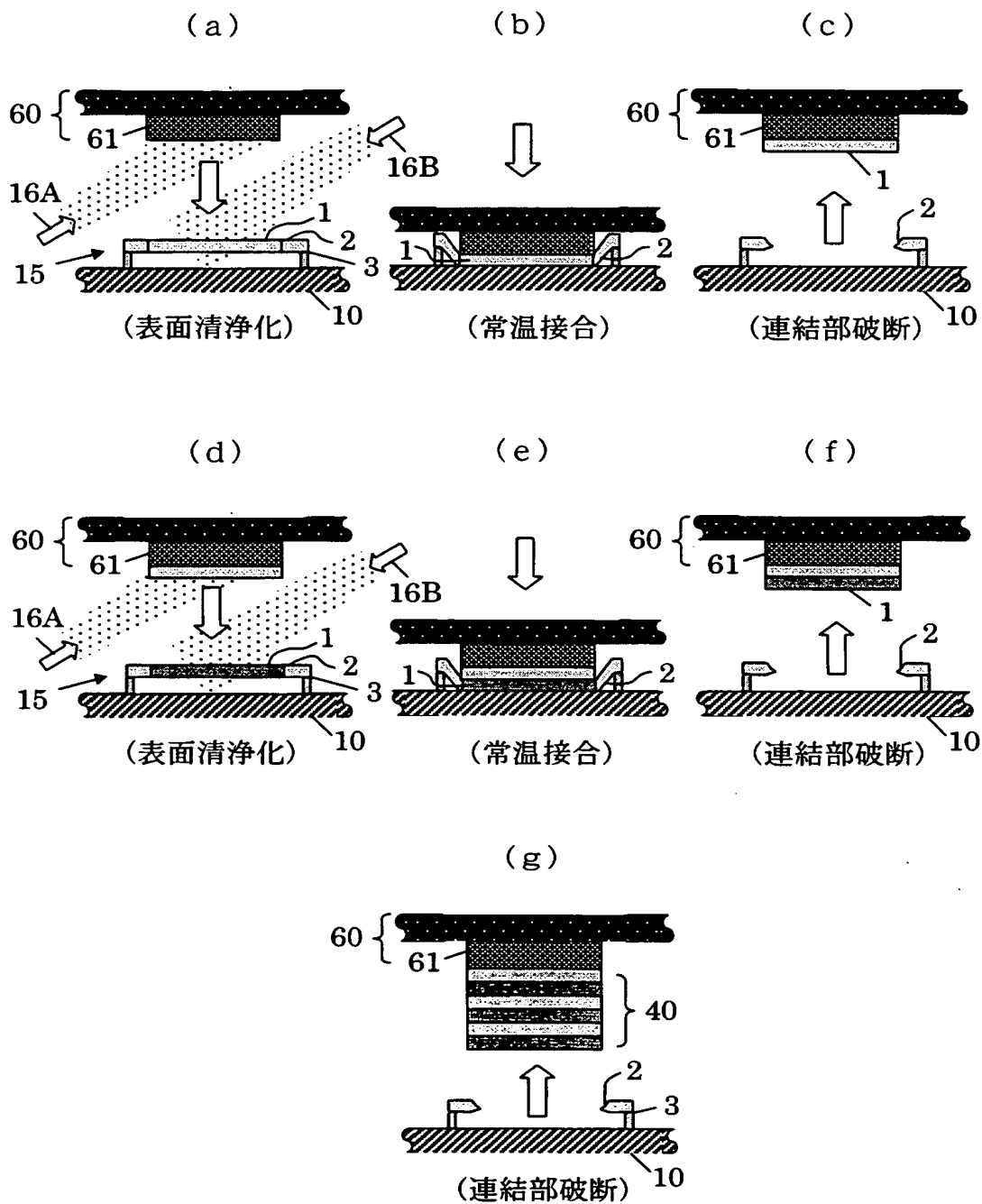
(b)

40



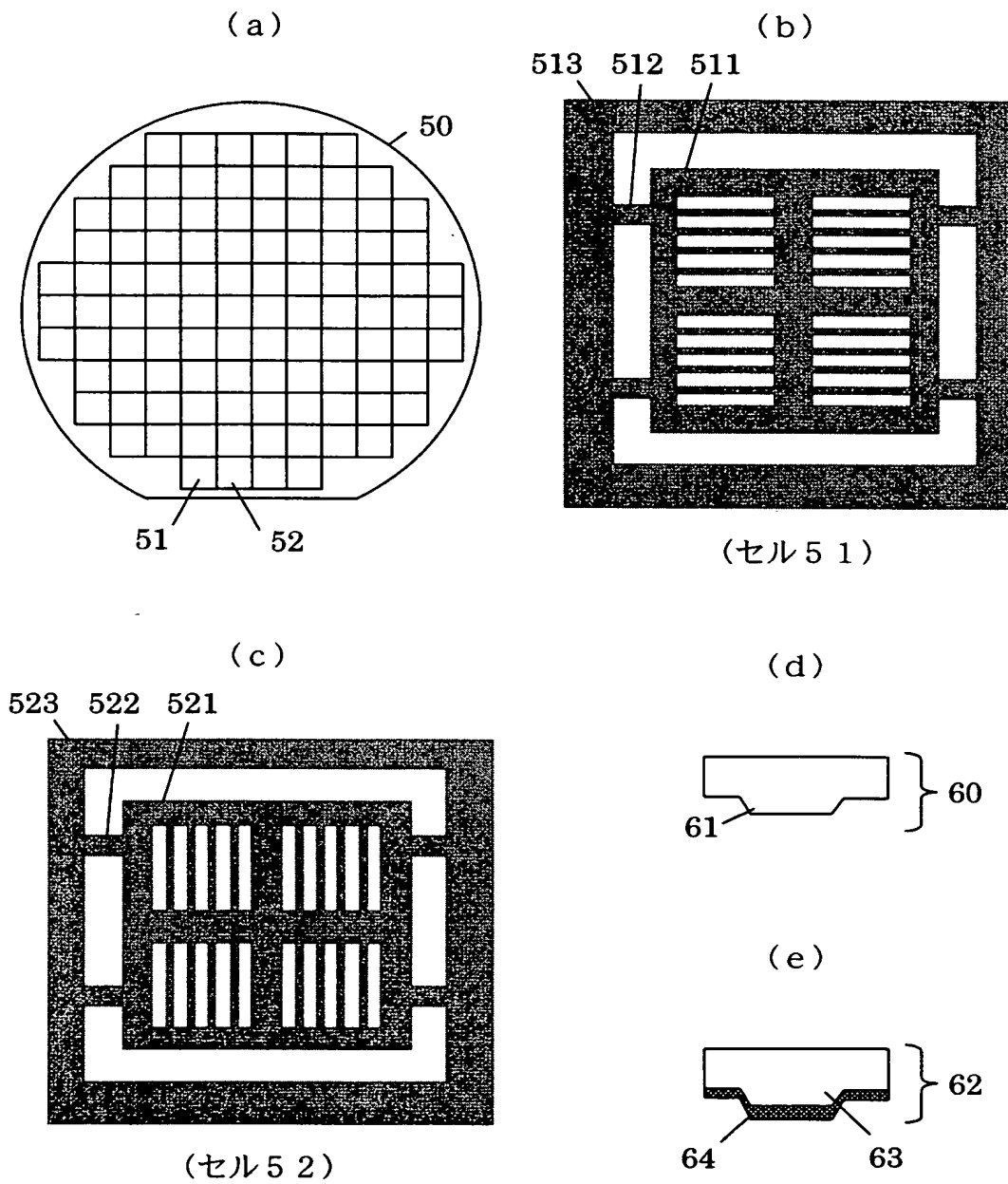
【図 4】

(図 4)

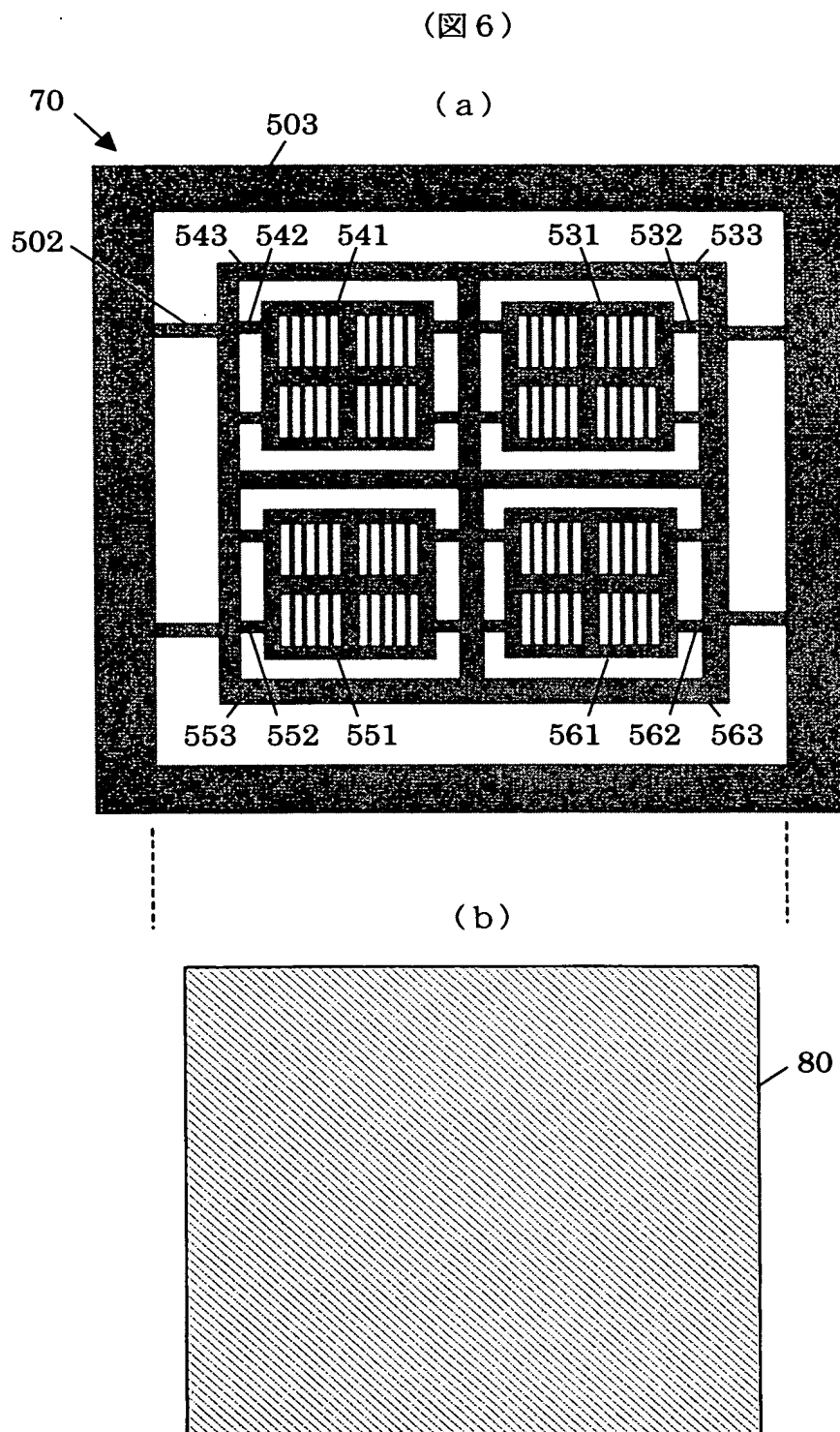


【図 5】

(図 5)



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 自由な設計に基づいて 3 次元構造体を効率的にかつ構成材料の制約を低減させて製造可能とする 3 次元構造体の製造方法を提供する。

【解決手段】 この 3 次元構造体の製造方法は、第 1 の基板上 1 0 に連結部材 2 および枠状部材 3 を介して空中保持された 3 次元構造体のスライスパターンに応じた複数の断面形状部材 1 を、第 2 の基板 6 0 上に順次接合転写して積層する工程を備える。この接合転写は常温接合を用いて行うことができ、断面形状部材 1 と第 2 の基板 6 0 とを近接対向させ、第 1 の基板 1 0 と第 2 の基板 6 0 との間に断面形状部材 1 を挟み込むことにより行う。連結部材 2 は、接合転写の際に破断される。

【選択図】 図 4

特願 2 0 0 3 - 1 4 3 5 3 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 4 9 6]

1 . 変更年月日

1 9 9 6 年 5 月 2 9 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都港区赤坂二丁目 1 7 番 2 2 号

氏 名

富士ゼロックス株式会社